Über die Wahrnehmung der Geräusche.

Von dem w. M. **Ernst Brücke.**

(Mit 2 Holzschnitten.)

In Pflüger's Archiv für die gesammte Physiologie Bd. XIII (1876), S. 228 ff. hat Sigm. Exner die Frage erörtert, mit welchem Theile unseres Gehörorgans wir Geräusche wahrnehmen. Er kommt zu dem Resultate, dass wir sie durch die Schnecke wahrnehmen und zwar mittelst derselben Gebilde, mittelst welcher wir Töne hören. Er stützt sich dabei hauptsächlich auf einen schon von Seebeck in anderer Form ausgeführten Versuch, nach dem man bei schnellerer Rotation eines Savart'schen Rades auch dann noch das Gefühl der Tonerhöhung hat, wenn man alle Zähne bis auf eine so kleine Gruppe herausgenommen hat, dass man keinen Ton mehr hört, sondern nur noch ein Geräusch. Man hat dieses Gefühl noch, wenn die Gruppe nur noch drei Zähne zählt. Exner modificirte diesen Versuch so, dass er zwei elektrische Funken nach einander überschlagen liess und das Intervall verkürzte. Auch hier konnte er, anscheinend paradoxer Weise, die Tonerhöhung noch wahrnehmen, obgleich kein Ton, sondern nur ein Geräusch vorhanden war. Die Schwierigkeiten, welche seiner Anschauung entgegen stehen, hat Exner ausführlich erörtert. Sie liegen wesentlich in der Kleinheit der Ausweichungen des Trommelfells, welche durch sehr deutlich hörbare Geräusche hervorgebracht werden, und Exner beseitigt sie durch die Annahme, dass es bei den Gehörsempfindungen nicht bloss auf die Amplitude, bis zu welcher die schwingenden Theile ausweichen, sondern auch auf die Plötzlichkeit des Anreissens, die Plötzlichkeit des Ausweichens ankomme.

Helmholtz hat sich in der vierten Auflage seiner Lehre von den Tonempfindungen (1877) der Ansicht von Exner

angeschlossen, und ich muss den ganzen auf das Hören von Geräuschen bezüglichen Passus des Buches hier wiedergeben, weil er für die nachfolgende Untersuchung von wesentlichem Belang ist.

Helmholtz sagt:

„Was die Wahrnehmung unregelmässiger Luftbewegungen, d. h. der Geräusche betrifft, so wird ein elastischer zur Ausführung von Schwingungen geeigneter Apparat keiner zeitweilig auf ihn wirkenden Kraft gegenüber in absoluter Ruhe bleiben können, und auch eine momentan oder in unregelmässiger Wiederholung andringende Bewegung, wenn sie nur stark genug ist, wird ihn in Bewegung setzen. Der eigenthümliche Vorzug der Resonanz auf den Eigenton beruht nur eben darin, dass unverhältnissmässig schwache einzelne Anstösse, wenn sie in richtigem Rhytmus sich folgen, verhältnissmässig ausgiebige Bewegungen hervorzubringen im Stande sind. Momentane starke Anstösse dagegen, wie z. B. die durch einen elektrischen Funken hervorgebrachten, werden sämmtliche Theile der Membrana basilaris in fast gleich starke Anfangsgeschwindigkeit versetzen können, wonach dann jeder dieser Theile in seiner eigenthümlichen Schwingungsperiode austönen wird. Dadurch würde eine gleichzeitige und wenn auch nicht gleich starke, doch gleichmässig sich abstufende Erregung sämmtlicher Schneckennerven entstehen können, die also nicht den Charakter einer bestimmten Tonhöhe haben würde. Selbst ein schwacher Eindruck auf so viele Nervenfasern wird wahrscheinlich einen deutlicheren Eindruck machen, als jeder einzelne Eindruck für sich. Wir wissen wenigstens, dass schwache Helligkeitsunterschiede eher auf grossen Theilen des Sehfeldes wahrgenommen werden, als auf kleinen, und geringe Temperaturunterschiede eher, wenn wir den ganzen Arm in das warme Wasser eintauchen, als wenn wir nur einen Finger eintauchen.

So wäre also eine Wahrnehmung momentaner Stösse sehr wohl möglich durch die Schneckennerven, und zwar in der Weise, wie Geräusche empfunden werden, nämlich ohne ein besonders merkliches Hervortreten einer bestimmten Tonhöhe.

Dauert der Druck der andringenden Luft auf das Trommelfell etwas länger, so wird dadurch schon die Bewegung in einzelnen Gegenden der Membrana basilaris begünstigt werden

können, gegen die in anderen Gegenden der Scala. Gewisse Tonhöhen werden vorzugsweise hervortreten. Man kann sich das so vorstellen, dass jeder Augenblick des Druckes als ein solcher betrachtet wird, der eine in Richtung und Stärke entsprechende und dann abklingende Bewegung in jeder Saite der Membrana basilaris erregt, und dass alle die auf solche Weise in jeder Faser erregten Bewegungen sich zu einander addiren, wobei sie sich nach Umständen verstärken oder schwächen werden.[1] So würde ein gleichmässig anhaltender Druck die Excursion der schwingenden Masse steigern, wenn er während der ersten halben Schwingungsdauer derselben anhält, so lange also die erste positive Excursion dauert. Wenn er aber länger anhält, schwächt er die zuerst erregte Wirkung wieder. Schneller schwingende elastische Massen werden also durch einen solchen verhältnissmässig weniger erregt werden als die, deren halbe Schwingungsdauer gleich oder grösser ist als die Dauer des Drucks. Dadurch wird ein solcher Eindruck schon eine gewisse, wenn auch schwach begrenzte Tonhöhe bekommen. Im Allgemeinen scheint die Intensität der Empfindung bei gleicher lebendiger Kraft der Bewegung nach der Höhe hin zuzunehmen, so dass immer der Eindruck der höchsten gleich stark erregten Fasern überwiegt.

Noch auffallender kann eine bestimmte Tonhöhe natürlich heraustreten, wenn der auf den Steigbügel wirkende Druck selbst nach einander mehrere Male zwischen Positiv von Negativ wechselt, und so können alle Stufen von Übergängen zwischen Geräuschen ohne bestimmte Tonhöhe und Klängen mit einer solchen zu Stande kommen, wie das auch in der That der Fall ist, und darin liegt eben auch der Nachweis, was Herr S. Exner mit Recht hervorgehoben hat, dass solche Geräusche von denjenigen Theilen des Ohres percipirt werden müssen, die der Unterscheidung der Tonhöhen dienen."

Diese Betrachtungen von Helmholtz in ihrem Zusammenhange mit den Untersuchungen von Sigm. Exner sind der Ausgangspunkt meiner Versuche gewesen.

---

[1] Hier weist Helmholtz auf die mathematische Beilage XI seines Werkes hin, welche die Schwingungsverhältnisse der Membrana basilaris behandelt.

Wenn die Geräusche, von denen wir zunächst die Explosivgeräusche als die einfachsten betrachten wollen, mit denselben Nerven gehört werden, mit denen wir hohe und tiefe Töne hören, und wenn diese ungleich von ihnen erregt werden, so muss auch eine subjective Verwandtschaft, eine Verwandtschaft der Empfindungen bestehen zwischen langwelligen Geräuschen und langwelligen Tönen und zwischen kurzwelligen Geräuschen und kurzwelligen Tönen. Man mache sich nur klar, was die Theorie von Helmholtz aussagt. Wir stehen ja nicht mehr wie Leibnitz auf dem Standpunkte der Lust am unbewussten Zählen, wir stehen auf dem Standpunkte, dass wir in den verschieden hohen Tönen nur die Erregung verschiedener Gruppen unserer Gehirnzellen empfinden, und es muss ein Zusammenhang bestehen zwischen den Empfindungen, welche uns erwachsen, wenn ein und dieselbe Hörzelle des Gehirns ein Mal dauernd, das andere Mal nur momentan erregt wird.

Für einen solchen Zusammenhang spricht auch die tägliche Erfahrung. Die Kanonenschüsse im Schlachtenlärm stellt die Musik durch Paukenschläge dar, und ihre Intention wird allgemein verstanden, obgleich der Kanonenschuss ein Geräusch ist und der Paukenschlag ein allerdings kurzer Klang von bestimmter Tonhöhe. Es ist hier nicht die Stärke der Detonation, welche in Betracht kommt, denn man wird nie versucht sein einen fernen Kanonenschuss mit einem nahen Gewehrschusse zu verwechseln. Ein Kanonenschuss, ein Gewehrschuss, die Detonation einer Zündkapsel und das Überspringen eines kleinen elektrischen Funkens bilden eine Reihe vom Tiefen zum Hohen, so dass man, wie ich es hinfort thun will, die Geräusche, auch die anscheinend einfachsten, eintheilen kann in tiefe und hohe, je nach der Stimmung der Schneckenzonen, welche von ihnen vorzugsweise erregt werden.

In der Lehre vom Percussionsschalle, der allerdings den Tönen näher steht und auch bisweilen als Ton bezeichnet wird, ist diese Reihe längst anerkannt und auf ihr beruhen Unterscheidungen, über deren Richtigkeit sich Niemand täuschen kann.

Die musikalische Höhe eines Klanges bestimmt der Grundton, die Obertöne bestimmen die Klangfarbe. Beim Geräusche existirt ein solcher Grundton nicht; das, was ich die Höhe des

Explosivgeräusches genannt habe, hängt ab von der Stimmung derjenigen Gebilde, deren Nervenfasern am stärksten erregt werden, und deren Centralgebilde desshalb der subjectiven Empfindung ihr Gepräge geben. Diese Stimmung muss in ihrer Eigenart um so deutlicher hervortreten, je mehr sich die Schallquelle entfernt, denn um so mehr werden die von den übrigen schwächer erregten Nerven ausgehenden Empfindungen wegfallen, weil die jene Nerven treffende Erregung unter den Schwellenwerth sinkt. Ein in unmittelbarer Nähe abgefeuerter Kanonenschuss wird sicher alle Fasern unseres Hörnerven erregen, aber ein Kanonenschuss in solcher Ferne, dass wir ihn nur eben noch deutlich hören, ebenso sicher nur einen Theil derselben. In der That ist für mich im letzteren Falle die Verwandtschaft mit einem tiefen Tone viel grösser, als im ersteren. Hiermit und mit der veränderten Wirkung des Echos hängt unzweifelhaft auch die grosse qualitative Verschiedenheit zusammen, welche der Donner zeigt, je nachdem die Entladung in grösserer Ferne erfolgt oder in grosser Nähe, ganz abgesehen von den accessorischen Geräuschen, wie Klirren der Fenster u. s. w.

Die hohen Explosivgeräusche zeigen diesen Unterschied nicht so auffallend, schon desshalb nicht, weil sie zu wenig laut sind, als dass man den Abstand von der Schallquelle in so weiter Ausdehnung variiren könnte, wie dies bei einem Kanonenschusse möglich ist. Man kann zwar auch hier die Intensität durch Annähern und Entfernen sehr bedeutend variiren, aber dann muss man mit der Schallquelle sehr nahe an das Ohr heranrücken und es wird neben dem Gehörseindrucke in unserem Ohre eine peinliche Empfindung erzeugt, welche unser Urtheil beirrt.

Hierin mag zum Theil die Ursache liegen, dass uns bei hohen Explosivgeräuschen der subjective Zusammenhang zwischen Ton und Geräusch nicht so fühlbar ist, wie die Verwandtschaft zwischen einem Kanonenschuss und einem Paukenschlage. Man kann auch noch an einen anderen Grund denken. Nach Helmholtz tönen die schwingenden Gebilde im Ohr mit einer gleichen Anzahl von Schwingungen aus, die Zeit aber, die sie dazu brauchen, ist dann natürlich bei den tief gestimmten grösser als bei den hochgestimmten. Während dieser Zeit aber werden die Nerven zur Tonempfindung angeregt, die Verwandtschaft mit

dieser kann also deutlicher hervortreten, wenn die Zeit länger ist. Dieser Anschauung widersprechen auf den ersten Anblick Versuche von S. Exner. Er untersuchte die Anzahl von Schwingungen, welche nöthig ist, um einen Ton als solchen wahrzunehmen. Bei einem Tone von 128 Schwingungen in der Secunde fand er in einer Versuchsreihe als Mittel 17·1, in einer andern 16·9. Für einen Ton von 64 Schwingungen in der Secunde fand er 16·8, also nahezu die gleiche Anzahl. Die Zeit war somit die doppelte gewesen.

Aber es handelt sich hier um etwas Anderes als in unserem Falle. Hier ist die Zeit gemessen, die nothwendig war, um einen Ton als solchen zu hören, wenn man aber einen Kanonenschuss oder die Detonation einer Zündkapsel hört, so hört man keinen Ton; es handelt sich hier nur um die Zeit der Erregung, welche nothwendig ist, uns die Verwandtschaft der subjectiven Empfindung mit der Empfindung zum Bewusstsein zu bringen, welche ein höherer oder tieferer Ton verursacht, und diese Zeit braucht nicht wie die von Exner gemessene, in geradem Verhältnisse mit der Schwingungsdauer zu wachsen.

Ja wir haben hier nicht nur das Austönen der Gebilde im Ohr zu berücksichtigen, sondern auch das Austönen der Luftschwingungen als solcher. Wir werden bald sehen, dass dies bei einer Reihe von Explosivgeräuschen, und namentlich auch beim Knall der Feuerwaffen, sehr wesentlich in Betracht kommt.

Nach neueren, namentlich nach Hensen's und Mach's Versuchen sind keineswegs alle Explosivgeräusche einfache, das heisst solche, die aus einer Welle, nicht aus einer Reihenfolge von Wellen bestehen.

Abgesehen von den einzelnen Luftwellen, welche Toepler durch elektrische Funken hervorbrachte und durch den Schlirenapparat direct beobachtete, ist es zweifelhaft, in wie weit es überhaupt einwellige Explosivgeräusche gibt, und es muss erst experimentell nach ihnen gesucht werden.

Ich begann meine Versuche darüber mit einem Apparate nach König, den Prof. E. v. Fleischl behufs Demonstration der Flammenbilder der Vocale zusammengestellt, und der sich hierfür stets als sehr gut und brauchbar bewährt hatte. Das König'sche Spiegelprisma war an demselben durch einen schie-

fen Spiegel ersetzt, der, so viel ich weiss, zuerst im Laboratorium von Helmholtz angewendet worden ist. Anfangs wurde dieser mittelst einer Kurbel und Schnurlauf in Drehung versetzt, bei späteren Versuchen durch den von Helmholtz erfundenen Motor, welchen Sigm. Exner bei seinen im Laboratorium von Helmholtz ausgeführten Arbeiten zuerst benützte. (Siehe Pflüger's Archiv, Bd. VII, Seite 601.)

Da die Nachschwingungen der Kautschukmembran an der König'schen Trommel störten, so ersetzte ich letztere durch einen in ein dickes Brett flach ausgedrehten Trichter, der mittelst einer Glimmerplatte verschlossen war. Diese war mit Heftpflastermasse aufgeklebt, und um sie noch weiter zu dämpfen, klebte ich, gleichfalls mit Heftpflastermasse, ein dünnes Stäbchen aus Fichtenholz in der Lage eines Radius auf die Glimmerplatte. Der Radius der Kegelbasis und somit des schwingenden Theiles der Glimmerplatte betrug 35 Mm.

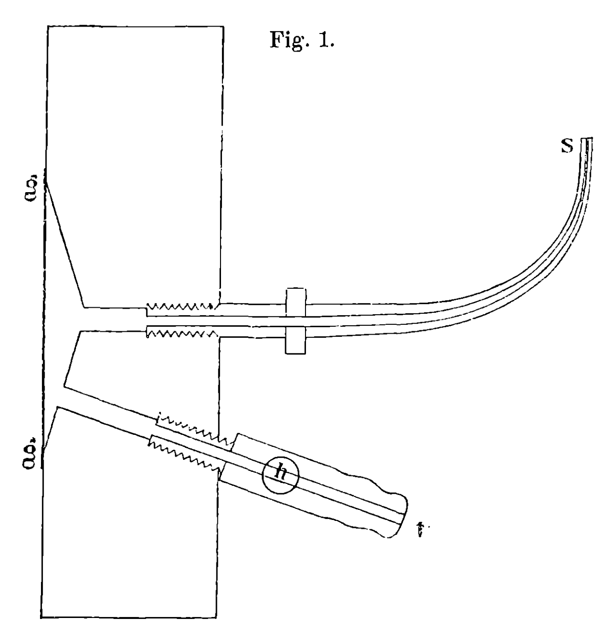


Fig. 1.

Beistehende Figur zeigt in *gg* die den Trichter bedeckende Glimmerplatte, *s* ist der Schnabel, aus dem die Flamme brennt. Sie brannte stets bei vollem Gasdrucke. Die Öffnung bei *s* war

durch Stauchen so lange verengt worden, bis die Flamme klein genug war. Anfangs wollte ich die Flamme durch Verminderung des Gaszuflusses reguliren, aber sie fing dann an in Folge des Luftzuges zu schwanken, den der rotirende Spiegel hervorbrachte. In *t* sieht man das Ende des Tubulus, an den der Gasschlauch angesteckt wird, in *h* den Hahn zum Absperren des Gases. Er ist hier, der Versuchsanordnung entsprechend, ganz geöffnet dargestellt. Die Schallwellen wurden hier nicht, wie bei der König'schen Trommel, mittelst eines Schalltrichters zugeführt, sondern schlugen, wie sie in freier Luft erzeugt waren, direct an die Glimmerplatte.

Ich liess mir noch eine andere ähnliche Vorrichtung machen, bei welcher der Holztrichter und die Glimmerplatte viereckig waren und statt des Stäbchens nur ein Streifen Heftpflastermasse als Dämpfer diente. Die Resultate waren nicht wesentlich andere.

Hiemit war ich nun dahin gelangt, dass ein gut geführter Klatscher mit den Händen, wie man ihn beim Applaudiren macht, in der Regel nur eine Zacke hervorbrachte, also den Effect nur einer Welle.

Auch Seifenblasen, die mit einem Gemenge von Wasserstoff und atmosphärischer Luft gefüllt waren, gaben verpufft in der Regel nur eine Zacke, wenn sie einfach waren, wenn nicht der grösseren Blase eine oder mehrere kleinere anhingen.

Diese Versuche zeigen zunächst, dass es ausser den von Toepler beobachteten Funkenwellen noch andere Explosionen gibt, welche entweder keine oder doch unverhältnissmässig schwache secundäre Wellen erzeugen. — Unverhältnissmässig schwach mussten die letzteren jedenfalls sein, weil sonst bei der Grösse der Amplitude der Zacke, welche die primäre Welle hervorbrachte, wenigstens eine Andeutung der secundären Wellen hätte vorhanden sein müssen.

Ehe ich von der weiteren Anwendung des Apparates spreche, will ich auf zwei Punkte aufmerksam machen. Anfangs, als ich mich noch der König'schen Trommel bediente, liess ich während des Versuches dauernd eine kleine König'sche Orgelpfeife (Labialpfeife) vom Ton Ut_5 (1056 Schwingungen) ertönen, um zugleich die Länge der Schallwellen zu messen, welche in meinen Versuchen hervorgebracht wurden. Bei dieser Anordnung

nun erhielt ich von detonirenden Zündhütchen des Kalibers, wie sie für Zimmerpistolen gebraucht werden, in der Regel nur eine Zacke: Als ich aber später die Pfeife wegliess, erhielt ich stets mehrere Zacken und konnte, so leicht Hensen's unter denselben Bedingungen gemachte Wahrnehmungen [1] bestätigen.

Offenbar verschwand die Wirkung der schwächeren secundären Impulse, wenn die Pfeife tönte, in den stärkeren Wirkungen, welche die letztere hervorbrachte.

Wenn die Pfeife tönte, so erstreckte sich die ganze Wirkung der Detonation des Zündhütchens in der Regel nur auf eine Zacke des Tonbildes; nur ausnahmsweise waren zwei afficirt, und dann trat die eine weniger hervor als die andere. Es ergibt sich hieraus, dass die primäre, durch die Detonation erzeugte Welle eine Schwingungsdauer hatte, die kleiner war als 1/528 Secunde. Vielleicht war sie sogar kleiner als 1/1056 Secunde; denn wo zwei nebeneinander stehende Zacken afficirt wurden, konnte die Affection der zweiten möglicher Weise schon von einer secundären Welle herrühren.

Der zweite Punkt, auf den ich aufmerksam machen will, betrifft die Reflexionen, die sich in geschlossenen Räumen bemerklich machen. Bei stärkeren Detonationen, wie sie durch Zersprengen von Schweinsblasen, Zerschmettern von aufgeblasenen Papiersäcken, Abfeuern schwacher Pistolenladungen hervorgebracht wurden, erschienen in verschiedenen Abständen von der primären Zacke secundäre Zacken, die kaum eine andere Ursache haben konnten, als die Reflexion der Welle an den Umgebungen. Auf den akustischen Charakter des Schalles scheinen diese Reflexionen keinen massgebenden Einfluss zu haben. Es ist zwar bekannt, dass Instrumente in verschiedenen Localen verschieden klingen, und auch der Schall als solcher von der Umgebung abhängig ist, aber Jedermann weiss, dass er das Platzen einer grossen Blase, abgesehen von der grösseren Schallstärke, von dem Platzen einer kleinen Blase in den verschiedensten Umgebungen leicht unterscheidet, dass also die Grösse der Blase immer von stärkerem Einfluss auf die Qualität des Schalles ist, als die Beschaffenheit der Umgebungen.

[1] Vergl. L. Hermann, Handbuch d. Physiologie. Artikel Gehör von V. Hensen. Bd. II, S. 19.

Nachdem der oben beschriebene Apparat vermöge der hinreichenden Dämpfung der Glimmerplatte geeignet war, einfache Wellen als einfache darzustellen, konnte er insoferne dienen Explosivgeräusche zu untersuchen, als dieselben sicher zusammengesetzte waren, wenn sie regelmässig eine Reihe von Zacken im Spiegelbilde zeigten. Es interessirte mich zunächst Explosivgeräusche zu untersuchen, welche in ähnlicher Weise zu Stande kommen, wie der Knall von Schusswaffen, aber schwächer sind. Ich liess mir dicke, an einem Ende geschlossene Bleiröhren machen von 33 Mm. Durchmesser in der Lichtung, von 7·5 Mm. Wanddicke und von verschiedener Länge, 0·32, 0·565 und 1·06 Met. Nahe dem geschlossenen Ende war ein Messingröhrchen eingelöthet, das mittelst eines dickwandigen Kautschukrohrs mit einer Compressionspumpe in Verbindung gesetzt wurde. Am offenen Ende des Bleirohrs wurde, nachdem dasselbe durch Umlegen eines eisernen Ringes gefestigt war, ein Kautschukstöpsel eingepasst. Er wurde vorher eingefettet, und dann wurde das Fett mit einem Tuche wieder abgewischt. Hierdurch konnte bei vollkommen hermetischem Verschlusse die Haftung des Stöpsels so regulirt werden, dass er, nachdem die Luft in der Röhre mittelst der Compressionspumpe bis auf einen gewissen Grad verdichtet war, mit einem kräftigen Puff herausflog.

Hierdurch nun wurde stets eine Reihe von Zacken von abnehmender Höhe hervorgebracht. Prof. Exner, Prof. v. Fleischl und ich, die wir die Versuche miteinander anstellten, glaubten auch in dem Puff eine Art von Klang zu hören, wie man ja auch einen solchen hört, wenn der Pfropfen einer Champagnerflasche springt. Dort kann er von der Resonanz der Flasche abgeleitet werden, hier aber schwerlich von der Resonanz des Bleirohrs als solchen. Auch von Resonanz durch Übertragung konnte er nicht herrühren, denn er wurde noch gehört, wenn das Bleirohr frei mit den Händen gehalten wurde.

Ich muss desshalb annehmen, dass die Luftwelle am offenen Ende der Röhre eine Reflexion erlitt, eine zweite Reflexion am Boden der Röhre eintrat und so mehrmals nach einander. Hiermit stimmte es auch überein, dass mir der Puff, den ich von der längsten Röhre erhielt, am tiefsten erschien, der, welchen ich von der kürzesten erhielt, am höchsten.

Ich versuchte nun die Fluctuationen der Luft in der Röhre dadurch zu hemmen, dass ich dieselben vor dem Versuche mit loser Baumwolle anfüllte. Dadurch aber wurde der akustische Effect fast vollständig zerstört. Wenn durch Arbeiten mit der Compressionspumpe der hinreichende Druck erreicht war, dann sprang der Stöpsel fast lautlos ab, indem zugleich ein Theil der Baumwolle herausgeschleudert wurde.

Wenn nun in unseren Bleiröhren solche secundäre Fluctuationen stattfanden, so kann man nicht zweifeln, dass sie auch jedesmal beim Abfeuern eines Gewehrs oder einer Kanone vorhanden sind. Wir können also die Tieftonigkeit im Knalle der letzteren nicht mehr ausschliesslich von den Dimensionen der primär erzeugten Welle ableiten. Wir müssen anerkennen, dass in der Periode der aufeinander folgenden Luftstösse ein Moment liegt, vermöge dessen die tiefgestimmten Elemente unserer Gehörsschnecke nicht nur absolut, sondern auch relativ stärker erregt werden, als dies bei einem Gewehrschusse der Fall ist.

Einen wie grossen Einfluss begrenzte Räume haben, in denen die Luft in Vibration versetzt werden kann, das erfährt man am deutlichsten, wenn man einen Resonator nach Helmholtz, z. B. einen solchen, der für den charakteristischen Ton des Vocals O oder U abgestimmt ist, ins Ohr steckt und dann an eine Bretterwand klopft, die rasch ausklingt, keinen als Ton erkennbaren Nachhall gibt; dann entsteht ein solcher Nachhall und zwar sehr deutlich mit dem Tone des Resonators. Dasselbe bemerkt man, wenn man mit einem Rohrstock auf eine Tafel Pappe schlägt, oder wenn man durch Biegen einer Blechtafel Knacke hervorbringt. Auch beim Gehen hängt sich jedem Fusstritte ein Ton im Resonator an. Derselbe rührt her von der Erschütterung der Fussbohlen, welche die Luft in Schwingungen vesetzt, nicht etwa von der Erschütterung des Resonators im Ohre; denn diesen kann man mit der Hand im Gehörgange hin und her bewegen ohne seinen Ton hervorzurufen.

Auf den ersten Anblick könnte es scheinen, als ob wir bei einem Kanonenschuss den Einfluss der secundären Luftwellen auf den Charakter der Tieftonigkeit vernachlässigen könnten, weil in grosser Entfernung, wo der Schall nahe daran ist, unter die Grenze der Hörbarkeit zu sinken, der Charakter der Tieftonigkeit nicht ver-

schwindet. Man könnte glauben, hier müsse die Wirkung der secundären Wellen, die doch offenbar schwächer sind als die primäre, geschwunden sein. Dem ist aber nicht so. Bekanntlich ist in unseren Sinnesorganen unterhalb einer gewissen zeitlichen Grenze die Wirkung nicht allein abhängig von der Intensität des Reizes, sondern auch von der Dauer desselben. Es kommt also bei Momentangeräuschen nicht sowohl die Amplitude der einzelnen Welle in Betracht, als vielmehr die Summe der lebendigen Kräfte, welche durch die zwei oder drei, oder mehr Wellen, die an unser Ohr gelangen, repräsentirt wird, und die einzelne secundäre Welle wird, wenn sie auch für sich allein nicht im Stande wäre, einen hörbaren Effect hervorzurufen, doch ihren Antheil am Gesammteffect nicht aufgeben. Sie trifft die für sie abgestimmte Zone der Membrana basilaris im geeigneten Momente und wird ihrer Bewegung neue hinzufügen, so dass sich ihre Action noch über dem Schwellenwerth befindet, wenn sie ohne diesen Zuwachs schon unter den Schwellenwerth gesunken wäre.

Wir haben in dem Bisherigen gesehen, dass wir im Knall der Schusswaffen eigentlich einen sehr kurzen Ton hören, einen Ton, der zu kurz ist, um als solche empfunden und ausgewerthet zu werden, und dessen primärer Impuls ausserdem, wenn er uns aus der Nähe zukommt, so stark ist, dass er die gesammten Schneckenfasern gleichzeitig erregt. Man kann sich leicht überzeugen, dass beim sogenannten Knacken dasselbe stattfindet. Für Versuche, welche ich später beschreiben werde, liess ich mir eine Kinderknarre mit starker Feder aus Buchenholz machen, welche beim Vorüberpassiren eines Zahnes durch das Aufschlagen auf den nächstfolgenden ein lautes Knacken hervorbrachte.

Wenn ich nun die Knarre so in der Hand hielt, dass das Gestell derselben in allen seinen Theilen möglichst gedämpft war, während ich den Daumen auf die Feder drückte, und ihn von der Wurzel derselben gegen das Ende vorschob, so wurde das Knacken unter Abnahme des akustischen Effectes deutlich höher bis mein Daumen schon nahe am Ende der Feder angelangt war. Hier wurde der Unterschied unmerklich. Über die Erklärung dieses Wechsels kann man, glaube ich, nicht im Zweifel sein. Durch das Vorschieben des Daumens hatte ich den schwingenden Theil der Feder mehr und mehr verkürzt und da-

durch den Ton desselben mehr und mehr erhöht, bis endlich die Nachschwingungen unmerklich wurden und damit auch der Unterschied im Laute des Aufschlagens.

Es ist klar, dass der Laut von Hammerschlägen, von Stampfen u. s. w. in derselben Weise zu beurtheilen ist. Sein Charakter wird ihm aufgeprägt durch die Nachschwingungen der aufeinander treffenden Theile und derer, die mit diesen in solcher Verbindung sind, dass sie in Mitschwingungen versetzt werden. Dauern sie lange genug, so entsteht ein Ton, wie wenn ein Klöpfel an eine Glocke schlägt, sind sie zu kurz, um als Ton erkannt zu werden, so entsteht das Geräusch des Schlages oder Stosses, dem aber noch die Periode der Nachschwingungen ihren Charakter aufprägt.

Wenn wir nun daran gehen, experimentell zu untersuchen, welchen Einfluss die Länge einer einzelnen Schallwelle, von der unser Ohr getroffen wird, auf die Qualität der von ihr hervorgerufenen Gehörsempfindung hat, so eignen sich nach den mitgetheilten Erfahrungen hiefür Luftstösse nicht, deren Luftmassen mit ganz oder theilweise verschlossenen Lufträumen in Verbindung stehen, und zwar desshalb nicht, weil secundäre Pulsationen in den letzteren kaum zu vermeiden sind. — Anderseits darf das Explosivgeräusch nicht zu laut sein, weil es sonst voraussichtlich sämmtliche Fasern unseres Gehörnerven afficirt.

Ich bin nach verschiedenen Versuchen stehen geblieben bei Seifenblasen, die mit einem Gemenge von Wasserstoff und von atmosphärischer Luft gefüllt waren. Mit Hilfe eines kleinen, sogleich zu beschreibenden Apparates, gelangte ich dahin, dass sie im gedrehten Spiegel fast ausnahmslos nur eine einfache Welle anzeigten.

Mit reinem Knallgas gefüllte Blasen detoniren zu heftig. Bei einiger Grösse solcher Blasen kann man die Qualität des Lautes nicht mehr beurtheilen.

Ich liess mir nach einem im hiesigen chemischen Universitätslaboratorium befindlichen Apparate, der gleichfalls zur Erzeugung von Seifenblasen diente, ein Messingrohr verfertigen, das an einem Ende in einen Kautschukschlauch zu stecken war; am andern war es eng gebohrt und ging in ein concaves Scheibchen von 14 Mm. Durchmesser aus, an dem die Seifenblase adhärirte.

Unmittelbar hinter der engen Borung brachte ich den Abschlusshahn an und zwar mit einarmigem, in den Hauptstellungen diagonalem Griffe, so dass so nahe wie möglich hinter der Blase abgesperrt werden konnte. So explodirte nur das Gasgemenge in der Blase, der kleine Raum in der engen Borung kam kaum in Betracht.

Hier zeigte sich nun, dass, wie nach den Erfahrungen des gewöhnlichen Lebens zu erwarten war, der Laut der grossen Blasen immer dumpfer, nach unserer Ausdrucksweise tiefer, war als der der kleinen Blasen. Die Stärke des Knalls kam hiebei nicht in Betracht.

Ich wusste aus früheren Erfahrungen, dass kleine Blasen aus reinem Knallgas, die mit stärkerem Krach als hier die grossen explodirten, nichts von deren dumpfem Laute zeigten.

Anderseits war es klar, dass Schwingungsdauer und Wellenlänge bei den grossen Blasen grösser sein mussten als bei den kleinen; denn es kam ja hier die Dauer der sogenannten Explosionswelle in Betracht, die Zeit, welche dazu nothwendig war, dass sich die Vereinigung von Wasserstoff und Sauerstoff durch die ganze Masse des Gemenges fortsetzte.

Es ist unzweifelhaft, dass der Luftstoss im Ohre eine Reihe von Schwingungen erzeugte, denn die erschütterten Theile müssen ja ausklingen, aber darauf kommt es für unseren Zweck nicht an; für uns handelt es sich nur darum, dass in der äusseren Luft keine Nachschwingungen stattfinden, deren Periode von der Grösse der Blase abhängig ist. Ist dies nicht der Fall, so hat die Erfahrung bestätigt, dass schon die einzelne Welle je nach ihrer Schwingungsdauer verschieden stark auf die verschieden gestimmten Theile des inneren Ohres einwirkt, wie dies die oben wiedergegebenen Auseinandersetzungen von Helmholtz verlangen.

Aus theoretischen Gründen solche Nachschwingungen der äusseren Luft vorauszusetzen, haben wir bei der mässigen, ja bei manchen Gemengen von atmosphärischer Luft und Wasserstoff sehr geringen Stärke der Detonation keine Ursache.

Die Erfahrung wies mit seltenen Ausnahmsfällen bei den Spiegelversuchen stets nur eine Welle nach. Die Erklärung der

Ausnahmsfälle liegt uns nicht ob, da der akustische Unterschied zwischen der Detonation grosser und der kleiner Blasen ausnahmslos vorhanden war. Wir können also mit Sicherheit sagen, dass er noch vorhanden war bei nur einer Welle, die gar keine Nachschwingungen hatte oder doch nur solche, die sehr schwach waren, nicht allein sehr schwach im Vergleiche mit dem primären Impulse, sondern auch im Vergleiche mit den Nachschwingungen, welche die Luftwellen zeigten, die aus den Bleiröhren hervortraten, nachdem der Stöpsel herausgetrieben war.

Obgleich im Detonationslaute nichts von einem Nachhall zu spüren war, der dem bei den Versuchen mit den Bleiröhren gehörten hätte verglichen werden können, so war doch der akustische Unterschied nach unserer Bezeichnung wiederum der vom Tiefen zum Hohen, er war also der subjectiven Auffassung nach derselbe, wie bei Explosivgeräuschen, bei denen die primäre Welle unzweifelhaft von Nachschwingungen gefolgt war.

Es erklärt sich dies dadurch, dass in beiden Fällen der Charakter des Lautes bedingt war durch die vorzugsweise Erregung eines Theiles unserer Acusticusfasern.

II.

Es ist bekannt, dass man mittelst Bewegungen von Luftmassen, die einzeln hohe Explosivgeräusche hervorrufen, keinen tiefen Ton erzeugen kann, auch wenn man die einzelnen Luftstösse hinreichend langsam aufeinander folgen lässt.

Dies wusste schon Savart, indem er sich bemühte, lange Impulse hervorzubringen, um tiefere und tiefere Töne zu erzeugen.[1] Es war ihm darum zu thun, noch Continuität in der Empfindung hervorzubringen; denn er meinte, so lange diese erhalten sei, müsse auch der Ton mit abnehmender Zahl der Impulse weiter sinken, während wir jetzt die untere Grenze der Tonempfindungen vom Vorhandensein von Nerven abhängig machen, die uns die Empfindungen von noch tieferen Tönen zubringen können.

Ferner bemerkt Exner, dass durch die Funkenreihe einer als Unterbrecher gebrauchten elektrischen Stimmgabel kein Ton

[1] Annales de chimie et de physique. Bd. 47, S. 74.

erzeugt wird. Dies wird sicher Jedermann bestätigen, und doch müsste man den Ton der Gabel erwarten, wenn der Satz, dass eine regelmässige Reihe von Luftstössen den Ton ihrer Periode hervorbringt, allgemein und unbedingt richtig wäre.

Helmholtz, der mittelst seiner Doppelsirene sehr tiefe Töne, Töne von 36—40 Schwingungen in der Secunde hervorbrachte, bemerkte, dass bei ihnen nicht wie gewöhnlich der Grundton der stärkste Ton war, sondern der erste harmonische Oberton, die höhere Octav. Erst bei mehr als 80 Stössen in der Secunde machte sich der Grundton akustisch geltend. Helmholtz fährt nach Beschreibung seiner Versuche fort: „Auch wenn die Wirkung des Klanges auf das Ohr erheblich verstärkt wird, ändert sich die Sache nicht. Es wurde bei den Versuchen mit der Sirene die oberste Platte des Blasebalgs durch die tiefen Töne in heftige Erschütterung versetzt, und wenn ich den Kopf auflegte, wurde mein ganzer Kopf so kräftig in Mitschwingung versetzt, dass ich die Löcher der rotirenden Sirenenscheibe, welche dem ruhenden Auge verschwinden, wieder einzeln sehen konnte vermöge einer ähnlichen optischen Wirkung, wie sie bei den stroboskopischen Scheiben vorkommt. Die angeblasene Löcherreihe schien festzustehen, die anderen Reihen bewegten sich theils vorwärts, theils rückwärts, und doch wurden die tiefsten Töne nicht deutlicher. Ein anderes Mal verband ich meinen Gehörgang durch eine passend eingeführte Röhre mit einer Öffnung, die in das Innere des Blasebalgs führte. Die Erschütterungen des Trommelfells waren so stark, dass sie einen unleidlichen Kitzel verursachten, aber dennoch wurden die tiefsten Töne nicht deutlicher. (L. c. S. 292).

Auf S. 293 sagt Helmholtz in einer Anmerkung: „Namentlich ist Savart's Instrument, wo ein rotirender Stab durch enge Spalten schlägt, ganz ungeeignet, tiefste Töne hörbar zu machen. Die einzelnen Luftstösse sind hier sehr kurz im Vergleich zur ganzen Schwingungsperiode, also müssen auch die Obertöne sehr stark entwickelt sein, und die tiefsten Töne, welche man hört bei 8 bis16 Schwingungen, können nichts als Obertöne sein.“

Wenn es sich ergibt, dass eine solche Folge von kurzen Stössen in langer Periode nur einen fast oder ganz unhörbar schwachen Grundton und starke Obertöne zur Folge hat, so

ergibt sich damit auch, dass die Einwirkung jedes einzelnen Stosses auf die tief gestimmten Elemente sehr schwach sein muss. Hierfür sprechen auch W. Preyer's Erfahrungen (Physiologische Abhandlungen I. Reihe I. Heft. Über die Grenzen der Tonwahrnehmung).

Die Unmöglichkeit durch hohe Explosivgeräusche, oder durch Schläge, welche ein hohes Geräusch geben, tiefe Töne zu erzeugen, kann nur darin ihren Grund haben, dass jedes einzelne dieser Geräusche die tiefgestimmten Gebilde des inneren Ohres nicht in eine solche Bewegung versetzt, dass die Nachwirkung noch besteht, wenn der zweite Impuls folgt, denn wenn diese Nachwirkung noch vorhanden wäre, so müsste sie sich in denjenigen der tiefgestimmten Endgebilde, welche beim Anlangen des zweiten Impulses in gleichsinniger Bewegung angetroffen werden, zu diesem zweiten Impulse addiren, die nun übrig bleibende grössere zu dem dritten und so fort bis die Energie der in der Zeiteinheit abgegebenen bewegenden Kräfte addirt zu der der gebildeten Wärme den Zuwachsen in derselben Zeiteinheit gleich geworden ist.

Wir hören also diese hohen Geräusche, wenn sie einander in längerer Periode folgen, einzeln als Geräusche, weil wir sie mittelst schwingender Theile des inneren Ohres hören, welche so hoch gestimmt sind, dass sie in kürzerer Zeit als die der Periode ist, ausklingen, oder wo dies nicht vollständig der Fall ist, oder doch die Empfindungen der Einzelstösse noch in einander fliessen, hören wir Schwirren oder Zirpen, bei stärkeren Stössen Knarren oder Kreischen.

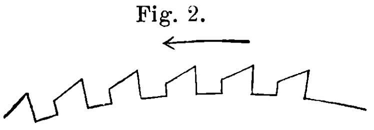
Das Savart'sche Rad widerspricht mit dem Umfange seiner Töne anscheinend dem hier Gesagten, da ja das Kartenblatt, mit dem man es in der Regel spielt, beim Aufschlagen einen verhältnissmässig hohen Laut gibt.

Melde sagt in seiner Akustik (Internationale wissenschaftliche Bibliothek, Bd. LVI, p. 348) von ihm Folgendes: „Lässt man an die Zähne einer solchen Scheibe ein Kartenblatt oder sonst eine dünne biegsame Lamelle heranreichen, so leuchtet ein, wie diese Lamelle, so oft ein Zahn kommt, zunächst an diesen anschlägt, sodann ein Stück mitgenommen und dann wieder losgelassen wird, um sofort beim nächsten heranrückenden

Zahn dasselbe zu erfahren. Man hätte es hier wohl zunächst mit sogenannten trockenen Schlägen zu thun, im Moment, wo allemal der Zahn an die Lamelle anschlägt; aber jedenfalls wird die Lamelle auch jedesmal der Länge nach eine Luftmasse verdrängen, so dass äusserst nahe gleichzeitig mit den trockenen Schlägen auch Luftstösse anzunehmen sind.“ Es ist unzweifelhaft, dass die Luftstösse, welche das Kartenblatt hervorbringt, mit zur Erzeugung des Tones beitragen, aber ebenso unzweifelhaft ist es, dass auch Theile des Apparates, auch des Tisches, auf dem er steht, vielleicht auch des Fussbodens, durch die Mitschwingungen, in welche sie versetzt werden, dazu beitragen. Ich habe mich davon auf folgende Weise überzeugt:

Ich liess mir ein Savart'sches Rad von 106 Mm. Radius aus Hartgummi machen. Hartgummi hatte ich gewählt als dasjenige Material, welches am wenigsten Klang hat, welches angeschlagen am wenigsten nachschwingt.

Fig. 2.



Die Zähne waren in der beigedruckten Weise abgedacht und das Rad wurde stets in der Richtung des Pfeiles gedreht. Es geschah dies mittelst Handkurbel, aber nicht direct, sondern mittelst einer Schnur, welche die Bewegung zwischen zwei zinnernen Kegeln übertrug, die mit Rillen für den Schnurlauf bedeckt waren, so dass die Geschwindigkeit innerhalb sehr weiter Grenzen verändert werden konnte.

Wenn ich eine kurze Fischbeinschiene fest zwischen Daumen und Zeigefinger hielt, so dass sie kaum 1 Ctm. lang hervorragte und sie so auf den Zähnen des Rades schleifen liess, so konnte ich keine tiefen sonoren Töne erzeugen. Bei langsamer Drehung hörte man ein Knarren und daneben allerdings einen Klang mit tiefem Grundton, der aber wenig laut war. Dagegen hatte die Erzeugung hoher und schriller Töne keine Schwierigkeit.

Ich liess jetzt den Apparat so an den Tisch schrauben, dass er durch Filzlappen von demselben getrennt war, und liess beim Umdrehen der Scheibe mit flachen Händen zwei Filzlappen an dieselbe drücken, um sie zu dämpfen. Jetzt war der Klang, den man früher neben dem Knarren gehört hatte, verschwunden. Er hatte also nicht direct hergerührt von den Schlägen des Fisch-

beines auf die Zähne; die durch sie erzeugten Luftwellen waren im Verhältniss zu der Periode zu kurz gewesen, aber sie hatten, so lange nicht gedämpft war, durch ihre periodische Wiederkehr den Apparat in Schwingungen versetzt, und diese secundären Schwingungen waren lang genug gewesen, jenen tiefen Klang zu erzeugen.

Wenn sich der Klang durch Dämpfung wegschaffen liess, so musste er sich auch verstärken lassen, wenn ich Körper von kräftiger Resonanz in Action setzte. Ich erinnerte mich an die sogenannten Waldteufel, welche ich in Berlin in der Weihnachtszeit so oft gehört hatte, und an die tiefen Brummtöne, welche sie hervorbrachten, wenn sie in grossen Dimensionen angefertigt waren.

Ich liess mir einen Cylinder aus Pappe anfertigen, der an seinem einen Ende durch einen flachen Boden, gleichfalls aus Pappe, geschlossen war. Er hatte 954 Mm. Länge und 204 Mm. im Durchmesser. Den freien Rand liess ich mit Tischlerleim bestreichen, um ihn etwas widerstandsfähiger zu machen. Diesen Rand nun liess ich auf den Zähnen des Zahnrades schleifen, während dasselbe langsam gedreht wurde. Auf diese Weise konnte ich tiefe und dabei laute, sonore Töne erzeugen. Wenn das Rad schneller gedreht wurde, so ging natürlich der Ton in die Höhe und das dumpfe Knarren, das anfangs noch als Ausdruck der beim Aufschlagen entstehenden Einzelimpulse geblieben war, verschwand mehr und mehr.

Die tiefe Resonanz des Hohlkörpers hatte hier mittelst der langen Luftwellen, welche durch sie entstehen, die Erzeugung kräftiger tiefer Töne ermöglicht. Wurde das Rad schneller gedreht und endlich so schnell, dass das Intervall der Periode kleiner wurde als die Schwingungsdauer des Eigentons des Hohlkörpers, so beeinträchtigte dies die Tonerzeugung nicht. Die Höhe des Tons musste immer abhängen von der Periode, und nur die Klangfarbe konnte durch das Übereinanderfallen der Wellen beeinflusst werden.

Diese Versuche zeigten wieder, dass, damit ein Ton entsteht, der einzelne Impuls in Rücksicht auf die Periode nicht zu kurz sein darf, aber sie liessen sich nicht benützen, um annähernd die Höhe des Tones zu bestimmen, für dessen Erzeugung sich ein gegebenes hohes Geräusch als passend erwies. Man hatte

immer noch mit der Resonanz des ganzen massigen Apparates zu kämpfen.

Da fiel mir ein, dass eine nach dem Principe der alten Nachtwächterknarre gebaute Kinderknarre, eine Schnarre oder, wie man sie in Wien nennt, Raatschen, ein Savart'sches Rad mit sehr wenig Resonanz sei. Die gewöhnlichen Schnarren, wie sie die Spielwaarenhandlungen boten, waren zu schlecht gearbeitet. Ich liess mir also im Laboratorium eine solche machen, deren Zahnrad aus Hartgummi bestand und auf der Drehbank gefreest war. Die Zähne waren nicht abgedacht, sondern fielen zu beiden Seiten gleich steil und nahe zu in der Richtung des Radius ab. Der Durchmesser des Radius betrug 37 Mm., und die Peripherie war in 12 Zähne getheilt. Das Gestell und die verhältnissmässig starke Feder, 87 Mm. lang und 17 Mm. breit, waren aus Buchenholz. Die Handhabe, welche in die Axe auslief, war cylindrisch und konnte durch Abziehen eines um sie gewickelten Bindfadens in rasche Rotation versetzt werden. Je weiter die Feder durch Aufdrücken des Daumens gedämpft wurde, um so schneller musste der Bindfaden abgezogen werden, um das Schnarren in einen Ton überzuführen.

Um nun annähernd die Anzahl der in der Zeiteinheit erzielten Impulse zu bestimmen, wurde an dem Ende der Feder in der der Handhabe entgegengesetzten Richtung ein zur Schreibfeder zugeschnittener Reisstrohhalm befestigt. Er schrieb in berusstem Papier, das auf einer Messingplatte, die Prof. Sigm. Exner früher bei verschiedenen zeitmessenden Versuchen gebraucht hatte, aufgespannt war, während die Messingscheibe durch den früher erwähnten Motor in Rotation versetzt wurde.

Jeder einzelne Versuch gestaltete sich folgendermassen. Nachdem der Motor in Gang gesetzt war und durch sein hörbares Reguliren anzeigte, dass er seine volle Geschwindigkeit erlangt hatte, wurde die Anzahl der Umdrehungen der Scheibe in der Minute gezählt nach dem Auftauchen eines hellen, vom Russ befreiten Fleckes am Rande der Scheibe an einer bestimmten Stelle des Sehfeldes. Diese Anzahl betrug bei verschiedenen Versuchen 122, 123, 124. In einem Falle wurden 127 Umdrehungen in der Minute gezählt.

Nun nahm ich die Schnarre, nachdem der Bindfaden aufgewickelt war, fest in beide Hände und legte den rechten Daumen auf die Feder nahe dem vorderen Ende derselben und nahe der Stelle, an der die Schreibvorrichtung befestigt war, und brachte diese in die Nähe der sich drehenden Scheibe. Nun wurde der Bindfaden mit möglichst gleichmässiger Geschwindigkeit abgezogen, und während dies geschah, suchte ich die berusste Scheibe während eines kurzen Zeitraumes, der nicht über eine halbe Secunde betragen sollte, mit der Spitze des Strohhalms zu berühren. Das Papier wurde dann von der Scheibe abgenommen und der Russ mit der in ihn gezeichneten Curve mittelst Schellaklösung fixirt.

Behufs Zählung der Impulse in der Zeiteinheit wurde ein möglichst gutes Stück der Curve ausgewählt, dessen Verhältniss zum Kreisumfange bestimmt und dann die Anzahl der Maxima gezählt.

Bei geringeren Geschwindigkeiten, bei denen die Anzahl der Impulse doch schon über 200 betrug, hörte man ein blosses Raatschen ohne jeden Ton. Wenn man aber die Geschwindigkeit des Abziehens steigerte, so ging dieses Raatschen in einen Schrei über. Der Schrei war rauh und kreischend, so dass Prof. Sigm. Exner, der alle diese Vorsuche mit mir anstellte, ihn dem Schrei eines Arras verglich. Dies war noch der Fall bei mehr als 600 (ganzen) Schwingungen in der Secunde. Wenn man das Abziehen des Fadens noch mehr und zuletzt so viel, als es unter den gegebenen Bedingungen möglich war, beschleunigte, so erhielt man erst ein höheres Kreischen und endlich einen hohen, gellenden Ton, wie wenn eine sehr kleine Pfeife sehr stark angeblasen würde. Die Curve, welche beim Erscheinen eines solchen Tones geschrieben wurde, zeigte sich nicht mehr verwendbar für das Auszählen der Impulse.

Die wesentliche Schwierigkeit bei diesen Versuchen bestand darin, während des Abziehens des Bindfadens, die behufs des Schreibens auszuführende Bewegung mit stetiger Hand zu machen und diese Schwierigkeit wurde natürlich um so grösser, je schneller der Bindfaden abgezogen wurde.

Anderseits war es nicht gestattet, die Schnarre einzuspannen, weil man sonst durch secundäre Schwingungen über die wahre

Tongrenze hätte getäuscht werden können. Sie musste mit den Händen gehalten werden und zwar so, dass sie in allen ihren Theilen möglichst gedämpft war.

Aus den beschriebenen Erfahrungen geht hervor, dass die von Melde sogenannten trockenen Schläge beim Savart'schen Rade nur für die hohen Töne das direct tonerzeugende sind. Für die mittleren und die tiefen Töne sind es, abgesehen von den primären Bewegungen des Kartenblattes, mit dem das Rad angespielt wird, secundäre Schwingungen, Schwingungen durch Resonanz, Nachschwingungen und übertragene Schwingungen, die zum Theil von breiten Flächen an die Luft übertragen und so hörbar werden. Was sind denn eigentlich die trockenen Schläge? Es sind als von Nachschwingungen möglichst frei gedachte, rasch verlaufende Impulse, welche durch das Anstossen des Zahns an ein Hinderniss entstehen, sich der umgebenden Luft mittheilen und so ans Ohr gelangen. Freilich, bei den aus Metall gefertigten Savart'schen Rädern sind sie keineswegs frei von Nachschwingungen, wie dies die Natur des Materials mit sich bringt. Aber eben desshalb sind sie auch nicht trockene Schläge im strengeren Sinne des Wortes.

III.

Mit dem Telephon lassen sich Versuche anstellen, welche theils zur Ergänzung der vorbeschriebenen dienen, theils dazu ihre Resultate zu bestätigen. Ich verband ein gewöhnliches Bell'sches Telephon mit einem Telephondrath, der durch ein zweites in ein drittes Zimmer geleitet war, wo seine Enden mit der Inductionsspirale eines Schlitteninductoriums in Verbindung standen. Wenn dasselbe in Thätigkeit gesetzt wurde, so hörte man ein Knarren ähnlich dem Quaken eines Frosches; wenn man es aber an das Ohr drückte, so hörte man ausserdem einen tiefen Ton, der jedoch höher war, als er hätte sein müssen, wenn er der Grundton einer Gehörsempfindung gewesen wäre, die durch einen Wellenzug von der Periode des Knarrens hervorgerufen wurde. Mehr will ich über ihn nicht aussagen, da ich sowohl der musikalischen Anlage als auch der musikalischen Ausbildung entbehre. Es liegt aber nahe, dass es ein harmonischer Oberton jenes Grundtones war, oder dass er sich aus mehreren

solcher Obertöne zusammensetzte. Dass bei kleiner Schwingungszahl des Wellenzuges Obertöne stärker gehört werden als der Grundton, ja dass sie bisweilen noch ganz deutlich sind, wo letzterer unhörbar ist, das ist aus den Erfahrungen von Helmholtz und von Preyer bekannt. Hier konnte es um so mehr der Fall sein, als jede einzelne Welle wegen ihres kurzen Verlaufes mehr geeignet war, höher gestimmte als tiefer gestimmte Theile der Membrana basilaris in Schwingungen zu versetzen. Wir haben es mit einer langsamen Aufeinanderfolge kurz verlaufender Impulse zu thun. Die ganz tief gestimmten Elemente werden dieselben wie gesagt wegen ihrer geringen Wellenlänge nicht erregen und die hochgestimmten werden sie nicht in dauernde Schwingungen versetzen können, weil wegen des raschen Ausklingens derselben der neue Impuls zu spät ankommt. Die Impulse werden desshalb mit diesen hochgestimmten Elementen nur als Geräusche gehört. Aber zwischen den hochgestimmten und den ganz tief gestimmten Elementen liegen solche, welche, wenn ihre Schwingungszahlen Multipla der Schwingungszahlen des Wellenzuges sind, von ihnen in stärkere oder schwächere, dauernde Schwingungen versetzt werden können.

Wenn gefragt wird, warum wir den Ton nicht hören, wenn wir das Telephon frei in der Hand halten, wohl aber wenn wir es ans Ohr drücken, so bieten sich hierfür zunächst zwei Gründe dar, die, wahrscheinlich beide nicht der wesentliche sind. Erstens sind die Anstösse, welche die Elemente erhalten, stärker, letztere schwingen also unter sonst gleichen Umständen länger nach und können somit in dauernde Schwingungen versetzt werden unter Bedingungen, unter denen dies durch schwächere Anstösse nicht geschah. Zweitens übertrug die Telephonplatte sicher Schwingungen an die Holzbestandtheile des Telephons. Diese mussten zwar dieselbe Periode haben, wie die der Platte, sie brauchten ihnen aber in Rücksicht auf den Verlauf nicht zu gleichen, sie konnten länger sein, und diese Schwingungen konnten durch die Ohrmuschel an die Kopfknochen und von diesen an das Gehörorgan übertragen werden.

Wenn dem so war, so mussten sie auch von anderen Theilen des Schädels aus, wenn auch schwächer, übertragen werden. Ich setzte desshalb das Telephon auf ein Scheitelbein, aber ich

hörte den Ton nicht deutlich, so dass diese durch feste Theile übertragenen Schwingungen wohl sicher nicht seine einzige Ursache sind.

Wahrscheinlich kamen beim Andrücken des Telephons an das Ohr auch stehende Schwingungen mit in Betracht, welche in dem unmittelbar vor dem Trommelfell befindlichen unvollkommen abgeschlossenen Luftraume erzeugt wurden, und die wohl am kräftigsten zur Erzeugung des tiefen Tones beitrugen.

Das Knarren, welches das frei in der Hand gehaltene Telephon hören liess, musste sich in einen Ton verwandeln, wenn die Impulse, welche die Telephonplatte erhielt, rascher aufeinander folgten. Ich ersetzte desshalb die Unterbrechung mittelst des Wagner'schen Hammers durch die Unterbrechung mittelst eines Blitzrades, das in schnelle Umdrehung versetzt werden konnte. Natürlich erschien ein Ton, der sich mit weiterer Beschleunigung der Umdrehung mehr und mehr erhöhte und reinigte. Wenn schnell gedreht wurde, so glich, wie es Prof. Sigm. Exner und mir erschien, der Ton dem Singen einer Stechmücke, welche sich ganz nahe vor dem Ohre befindet. Auch erinnerte mich der Ton gelegentlich an den, welchen die Knaben hervorbringen, indem sie auf den hohl gegen einander gelegten Händen pfeifen, während sie das schneidend scharfe Blatt eines Grases zwischen den Beeren und den Ballen der beiden Daumen ausgespannt und eingeklemmt halten.

Andererseits musste auch bei langsamerer Schlagfolge ein Ton erhalten werden, wenn die Bewegung der Telephonplatte über einen grösseren Zeitraum ausgedehnt werden konnte. Ich liess mir eine Telephonplatte aus dickerem Blech schneiden und passte sie, nachdem sie ganz wenig concav gehämmert war, zwischen zwei Kautschukringen in das Telephon ein, wobei die Schrauben nur mässig angezogen wurden. Ich war hierdurch meinem Zwecke schon näher gekommen, aber der Erfolg war noch ein unvollkommener. Ich merkte nun beim Hin- und Herprobiren, dass es vortheilhaft sei, nur eine Schraube des Telephons anzuziehen, die übrigen locker zu lassen. Nun vergrösserte ich die nur durch eine Schraube fixirte Telephonplatte und spannte endlich ein rechteckiges Eisenblech von 361 Mm. Länge

und 252 Mm. Breite als solche ein. Nun erhielt ich einen deutlichen Ton, der noch im zweiten Zimmer hörbar war.

Ich muss bemerken, dass ich mich bei diesen Versuchen ausschliesslich der Hemholtz'schen Vorrichtung zum Unterbrechen des primären Stroms bedient habe, weil ich bemerkte, dass ich damit bessere Resultate erzielte. Auch die Extraströme eines grösseren Inductoriums habe ich mit Erfolg verwendet.

Wenn ich, während die secundäre Spirale mit einem gewöhnlichen Telephon verbunden war, den primären Kreis mit der Hand schloss und öffnete, so hörte ich am Telephon sowohl den Schliessungs-Inductionsschlag als den Öffnungs-Inductionsschlag, aber den letzteren stärker.

An der Bussole geben Schliessungs- und Öffnungs-Inductionsschlag denselben Ausschlag, weil die Dauer der Schläge verschwindend klein ist gegen die Zeit, welche der Magnet der Bussole zu seiner Bewegung braucht, und desshalb in beiden Fällen nur der Integralwerth in Betracht kommt. Daraus, dass hier der Öffnungs-Inductionsschlag stärker gehört wird, muss man schliessen, dass die Dauer der Inductionsströme nicht mehr verschwindend klein ist im Vergleiche mit der Zeit, welche die Telephonplatte zu ihrer Bewegung gebraucht, wie sich dies auch aus anderen Gründen erwarten lässt.

Bei Anwendung der Helmholtz'schen Vorrichtung fand ich zwischen den akustischen Effecten beider Schläge keinen Unterschied.

Beim Experimentiren mit dem Telephon hatte ich auch versucht, die Töne von König'schen hölzernen Labialpfeifen einzeln zu übertragen, und bemerkt, dass dies bei verschieden hohen Tönen mit sehr verschiedenem Erfolge geschah. Ich bediente mich theils der Bell'schen Telephone des Institutes, theils zweier Ader'scher Telephone, welche Herrn Professor v. Fleischl gehörten, aber in beiden Fällen litt die Klangfarbe der tieferen Töne sehr beträchtlich. Der Grund davon ist leicht einzusehen. Die vom Geber erzeugten Luftwellen stimmen mit denjenigen, welche den Empfänger erregen, weder in Rücksicht auf die Amplitude, noch auch in Rücksicht auf den zeitlichen Verlauf der einzelnen Welle überein. Ich glaube, Jedem, er mag noch so unmusikalisch sein, muss die Armseligkeit der tiefen Töne

in übertragener Orchestermusik auffallen. Mir wenigstens ist sie in hohem Grade störend.

Ich verkenne dabei nicht, dass ein mittelst Telephon übertragenes Concert für den Musikalischen sehr viel mehr Werth hat, als für Unmusikalischen. Dem ersteren wird die Reihe der musikalischen Gedanken vollständig vorgeführt, und er kann das Fehlende aus seiner Phantasie ergänzen, der letztere, der die Schönheit der Töne unmittelbar empfinden muss, fühlt sich enttäuscht.

IV.

Indem wir auf das Bisherige zurückblicken und dabei die Untersuchungen von Sigm. Exner in Betracht ziehen, müssen wir uns sagen, dass wir der Annahme, es seien für das Hören von Geräuschen eigene Nerven vorhanden, nicht bedürfen. Wir würden ihrer nur bedürfen, wenn es sich zeigte, dass die Sensationen, welche wir Geräusche nennen, von denen, welche wir Tonempfindungen nennen, derartig verschieden wären, dass sie sich nicht auf Erregung derselben Elemente zurückführen lassen.

Nun lassen sich aber unter Anwendung des Ohm'schen Principes mittelst der Voraussetzungen, welche Helmholtz über die Schnecke gemacht hat, unsere Gehörsempfindungen vollständig erklären. Wir nehmen mit Letzterem an, dass Töne entstehen, indem bestimmte Gruppen der Schneckenfasern dauernd erregt werden, und dass die Töne um so reiner sind, je gleichmässiger die Erregung ist, je weniger wechselnd, rasch wechselnd in ihrer Intensität.

Wir nehmen ferner an, dass Geräusche entstehen, wenn dieselben Nerven nur sehr kurze Zeit lang erregt werden, oder wenn die Erregungen in unregelmässiger und rascher Folge von einer Nervengruppe zur anderen überspringen oder wenn sie so viele Nervenfasern gleichzeitig[1] oder in so rascher Aufeinander-

[1] Ich muss hier daran erinnern, dass wir die Empfindung nicht kennen, welche uns die gleichmässige und dauernde gleichzeitige Erregung sämmtlicher Nervenfasern einer Schneckenzone erregen würde, die breiter wäre als die Zonen sind, welche unserer Meinung nach durch einzelne Töne in Action versetzt werden. Wir haben kein Mittel, eine solche gleichmässige Erregung hervorzubringen, da das gleichzeitige Hervorbringen der bezüglichen Reihe von Tönen Schwebungen, beziehungsweise Dissonanzen, das heisst Ungleichmässigkeit in der Erregung hervorruft.

folge und in solchem Wechsel treffen, dass es nicht möglich ist, aus dem ganzen Eindruck einen Ton von bestimmter Höhe herauszuhören.

In der Annahme, dass dieselben Nerven Geräusche empfinden, wenn sie nur sehr kurze Zeit erregt werden, liegt schon die Voraussetzung, dass keine feste Grenze vorhanden sein könne, zwischen Ton und Geräusch. Zwischen dem Ton, der beim Anschlagen einer Glocke erklingt und dem Geräusche, das man hört, wenn man ein Stück Pappe anschlägt, liegt eine continuirliche Reihe, in der das Ausklingen immer rascher erfolgt, bis es sich endlich in so kurzer Zeit vollzieht, dass kein Ton mehr gehört wird. Aber auch dann ist noch das Geräusch von verschiedener Qualität, je nachdem vorzugsweise oder ausschliesslich hoch gestimmte oder tief gestimmte Elemente des Gehörorgans erregt werden, und die zeitliche Grenze ist für verschiedene Menschen so verschieden, dass der Eine nur ein Geräusch vernimmt, wo der Andere nicht nur einen Ton hört, sondern ihm noch seinen Ort in der Tonleiter anweist.

Auch von einer Reihe von Explosivgeräuschen haben wir gesehen, dass sie sich durch die Nachschwingungen der Luft den rasch ausklingenden Tönen anreihen und dass sie gemäss der Periode dieser Nachschwingungen geeignet waren, bestimmte Gruppen von Nervenfasern stärker zu erregen als die übrigen. Denn die Nachschwingungen waren keineswegs bedeutungslos für den akustischen Effect. Sie addirten eben für diese Gruppen von Nervenfasern ihre Wirkung zu der der primären Welle.

Ja vielleicht ist die Bedeutung dieser Nachschwingungen für den akustischen Effect bisher bedeutend unterschätzt worden. Auch Hensen ist dieser Ansicht (l. c. p. 19). Ich erinnere daran, dass das Herauswerfen des Kautschukstöpsels aus der Bleiröhre fast lautlos wurde, als ich die Röhre mit loser Baumwolle gefüllt hatte. Allerdings war hier die Baumwolle auch ein Hinderniss bei der Bildung der primären Welle, aber die Luft war doch bis zu demselben Grade comprimirt gewesen, wie in den Versuchen ohne Baumwolle, nur musste sie einen Theil der Energie an die Baumwolle übertragen, die sie auch zum Theil herausschleuderte.

Auch diesen Explosionsgeräuschen kam also die Qualität von Höhe und Tiefe zu, und da wir denselben qualitativen Unter-

schied noch bei Einzelwellen von verschiedener Schwingungsdauer fanden, bei denen keine nachweisbaren Nachschwingungen vorhanden waren, so schlossen wir, dass, wie es die Theorie verlangt, auch die Einzelwelle je nach ihrer Schwingungsdauer die verschiedenen Fasern des Gehörnerven ungleich stark erregt.

Wenn kurze Einzelwellen zu weit auseinanderrücken, so geben sie keinen Ton mehr, weder den der Periode, noch einen Oberton desselben, und zwar schon dann nicht, wenn man noch weit von der allgemeinen unteren Tongrenze entfernt ist. Es ist dies in voller Übereinstimmung mit der Theorie für den Fall, dass die Nachwirkung in allen durch den Einzelimpuls primär bewegten Gebilden bereits aufgehört hat, wenn der nächstfolgende Impuls ankommt, denn der Grundton kann nicht entstehen, und für harmonische Obertöne können auch keine Impulse abgeleitet werden. Das Fourier'sche Theorem ist zwar noch auf die einzelnen Wellen, aber nicht mehr auf das ganze System anwendbar. Es ist wesentlich, diese Bedingung auch für die harmonischen Obertöne hinzuzufügen, denn die Nachschwingungen erlöschen zwar unter gleichen Bedingungen 2, 3. . . $n$fach früher in den Gebilden, durch welche jene vermittelt werden, als in denen, durch welche der Grundton vermittelt wird, aber die Bedingungen sind eben nicht die gleichen, indem die letzteren Gebilde primär schwächer erregt werden als die ersteren.

Hier muss ein besonderes Gewicht gelegt werden auf die Unfähigkeit kurzdauernder Einzelimpulse Gebilde von sehr viel grösserer Schwingungsdauer in Bewegung zu setzen, da wo die Übertragung unter ähnlichen Bedingungen wie im Gehörorgane, d. h. mittelst Flüssigkeit auf kleine feste Theile stattfindet. Wenn man berücksichtigt, dass es bei der Erregung einer Gehörsempfindung nicht nur auf die zuerst erzielte Ausweichung ankommt, sondern auch darauf, ob das bewegte Gebilde ausklinge, Nachschwingungen habe, oder ob es nach seiner ersten Schwingung seiner Energie bereits vollständig beraubt sei, dann muss man schon a priori erwarten, dass die Wirkung sehr gering sei im Vergleiche zu derjenigen, welche erzielt wird, wenn die Schwingungsdauer des Impulses mit der eigenen Schwingungsdauer des zu bewegenden Gebildes übereinstimmt, und dafür spricht auch die Erfahrung unseres Gehörsinnes.

Der gellende Pfiff einer Dampfpfeife, auch wenn er uns aus so unmittelbarer Nähe trifft, dass wir durch den plötzlichen Stoss peinlich betroffen zusammenfahren, gibt uns nicht die Mitempfindung eines tiefen Geräusches, auch nicht zu Anfang, weil der Einzelimpuls die tiefgestimmten Theile des Gehörorganes nicht so weit erzittern macht, dass dadurch eine Gehörsempfindung entstünde.

Ebenso verhält es sich, wenn zwei kurze Stahlcylinder dicht vor dem Ohre zusammengeschlagen werden, während der meilenweit entfernte Schuss aus einem schweren Geschütze, der die hochgestimmten Elemente unseres Gehörorgans vollkommen in Ruhe lässt, uns die Empfindung eines tiefen Geräusches verursacht. Mögen die Nachschwingungen, die durch ihre Periode die Fasergruppen bestimmen, welche erregt werden, in Betracht kommen oder nicht; sie können die Wirkung für diese verstärken, aber sie hätten die Wirkung des ersten Impulses auf andere Fasern nicht aufheben können, wo sie bereits eingetreten war.

Es ist auch für den obigen Fall, in welchem die Impulse zu weit auseinandergerückt werden, um einen Ton zu geben, nicht wesentlich, ob die Impulse einfach sind, oder ob sie selbst wieder mit einigen Schwingungen ausklingen, welche dann durch ihre Periode die Fasergruppen bestimmen, die erregt werden; immer wird sich die Qualität des Geräusches nur nach der Wellenlänge richten, so lange die Geräusche einzeln gehört werden, und wenn sie bei Annäherung der Stösse anfangen in einander zu fliessen, so wird durch den raschen Wechsel in der Stärke der Erregung ein Kreischen entstehen, aber zunächst noch nicht der Ton, der gemäss der Periode, in der die Stösse folgen, entstehen sollte.

Es ist hier dieselbe Gedankenfolge anwendbar, welche Helmholtz abhielt, das Entstehen der sogenannten Tartinischen Töne, wie es früher geschehen war, aus dem Aneinanderrücken der Schwebungen zu erklären. Aus dem abwechselnden Stärker- und Schwächerwerden kurzer, rasch folgender Impulse kann an sich kein tiefer Ton entstehen, wenn keine Einzelimpulse vorhanden sind, welche die tief gestimmten Endgebilde in Bewegung zu setzen vermögen.

Es gibt also nicht nur eine untere Grenze der Töne überhaupt, sondern es gibt für jeden Einzelimpuls eine Grenze, unterhalb welcher er nicht mehr zur Tonbildung verwendet werden kann.

Wo dies, wie beim Savart'schen Rade, scheinbar dennoch geschieht, kommt die Täuschung daher, dass durch die in regelmässiger Folge erfolgenden Anstösse anderweitige Schwingungen von grösserer Schwingungsdauer ausserhalb unseres Ohres erzeugt sind, die nun den Ton der Periode, beziehungsweise dessen harmonische Obertöne in unserem Ohre hervorrufen.

Es liegt mir nun noch ob, ausser den Momentangeräuschen, den Explosionen und Schlägen, noch die continuirlichen Geräusche, das Rauschen, das Zischen, das Wehen, auf die Frage zu untersuchen, ob wir für sie der Annahme eigener Nerven bedürfen. Ich glaube nicht.

Im Rauschen des Meeres und im Rauschen des Windes im Laubwalde kommen sehr viele kleine Explosivgeräusche und Schläge vor. Man kann sie bisweilen einzeln hören, wenn man sich ganz nahe an einen Baum begibt, durch dessen Blätter der Wind geht. Neben diesen kleinen Schlägen existiren im Rauschen offenbar Reibungsgeräusche, die sich in Rücksicht auf den Bewegungszustand der Lufttheilchen zu den Tonwellen verhalten, wie die kleinen, unregelmässigen Wellen eines Baches, der zwischen Steinen dahinfliesst, sich verhalten zu den Wellen, welche auf dem Spiegel eines stehenden Gewässers erregt werden.

Es scheint nach unseren früheren Erfahrungen nicht, dass wir nöthig haben für die Empfindungen, welche uns dadurch hervorgerufen werden, eigene Nerven anzunehmen.

Das Zischen unterscheidet sich vom Rauschen wesentlich dadurch, dass die Einzelgeräusche höher sind, wohl auch dadurch, dass sie gedrängter sind, rascher aufeinander folgen.

Das Hauchen und Wehen repräsentirt die schwächsten, durch Reibung verursachten unregelmässigen Luftbewegungen, welche noch durch unser Gehör wahrgenommen werden.

Alle uns so erwachsenden verschiedenen Sensationen zwingen uns nicht mehr, für sie eigene Nerven anzunehmen, nachdem wir einmal erkannt haben, dass wir die Momentangeräusche, die Explosionen und Schläge, dadurch empfinden, dass eine grössere

oder geringere Partie unserer tonhörenden Nerven momentan erregt wird.

Um die Vielartigkeit dieser Sensationen zu erklären, haben wir genug Anhaltspunkte in der verschiedenen Wellenlänge und Amplitude der einzelnen Impulse, ferner in ihrer grösseren oder geringeren Unregelmässigkeit, in ihrer rascheren und langsameren Aufeinanderfolge und in ihrer Configuration, endlich in den secundären Wellen, welche der einzelne Impuls durch Resonanz erzeugt, wie dies z. B. beim Hineinblasen in eine frei vor den Mund gehaltenen Flasche geschieht. Anderseits aber drängt sich die Frage auf, ob nicht, obgleich wir die Geräusche mit unseren tonhörenden Nerven hören, doch noch Nerven vorhanden seien, mit welchen wir zwar Geräusche, aber keine Töne wahrnehmen. Es müssten dies Nerven sein, denen in Folge ihrer Endigungsweise das Vermögen Impulse zu summiren abgeht, die mit keinen nachschwingenden Gebilden in Verbindung stehen, an ihren Enden vollkommen gedämpft sind.

Wir würden kaum in Verlegenheit sein, solche Nerven anatomisch nachzuweisen. Ich sehe hier ab vom Nervus vestibuli, weil ich der Ansicht von Flourens bin, dass derselbe kein Gehörnerv sei, aber auch in der Schnecke endigen bekanntlich Nervenfasern, und zwar Acusticusfasern, zwischen den Zellen des inneren Epithels so, dass wir zweifeln können, ob sie durch bestimmte Töne vorzugsweise in Schwingungen versetzt werden. Es sind physiologische Schwierigkeiten, welche uns entgegenstehen, wenn wir diese Nerven für das Hören von Geräuschen allein verwerthen wollen. Warum kommen uns von ihnen keinerlei specifische Empfindungen, Empfindungen mit dem Charakter eines Geräusches zu, wenn starke Töne an unser Ohr schlagen? Allerdings haben die Versuche von Exner und von Urbantschitsch[1] gezeigt, dass auch auf die tonempfindenden Nerven die einzelne Tonwelle relativ schwach einwirkt, und der kräftige acustische Effekt erst in Folge der Summation der Wirkungen der einzelnen Stösse zu Stande kommt, aber auf die mächtigen Anfragen des Nebelhorns und der Dampfpfeife sollten jene Nerven doch nicht ganz schweigen. Wir müssten denn annehmen, dass ihre Wirkung im

---

[1] Pflüger's Archiv f. d. ges. Physiol. Bd. XXV, S. 323.

Centralorgan hier von der überwältigenden Erregung der tonhörenden Nerven ganz übertäubt wird, während ihre Empfindung bei Geräuschen, bei denen Sonne und Wind zwischen ihnen und den tonhörenden Nerven gleich vertheilt sind, doch zur Geltung kommen kann, und diese Möglichkeit ist allerdings nicht ausgeschlossen. Aber dann fragt es sich, was ist den Geräuschen gemeinsam, in welchen die Erregung dieser Nerven als Gehörsempfindung auftreten soll? Man mag sich die Centren, mit denen diese Fasern verbunden sind, so vielartig vorstellen, wie man will; wenn sie die Eigenschaft der tonempfindenden Nerven, von Wellen, verschiedener Schwingungsdauer verschieden erregt zu werden, nicht haben, dann müssen sie, wenn ihnen gleiche Erregbarkeit zukommt, stets alle gleichzeitig erregt werden, also nur eine Art der Empfindung hervorrufen, die nur noch durch den zeitlichen Verlauf der Reizung modificirt wird, indem die Empfindung dauernd sein kann, oder momentan, beziehungsweise durch Pausen oder Abschwächungen unterbrochen.

Wenn ihnen ungleiche Erregbarkeit zukäme, so konnte sich mit steigender Erregung allerdings die Gesammtempfindung ändern, aber die Empfindung, welche die erregbarsten unter ihnen vermitteln, würde doch aus der gemischten Empfindung nicht absolut verschwinden, sie würde doch als Bestandtheil derselben erkennbar sein; wenigstens ist dies nach der Analogie der Tonempfindung wahrscheinlich, da ja von Geübten ein Klang auch ohne äussere Hilfsmittel in dem Grundton und die Obertöne zerlegt wird.
